

氏 名	岩下 慎 吾
所 属	都市環境科学研究科 都市環境科学専攻 都市基盤環境学域
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	都市環境博 第 279 号
学位授与の日付	令和 2 年 3 月 25 日
課程・論文の別	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題名	超長大多径間吊橋の静的・動的構造特性と実現可能性に関する研究
論文審査委員	主査 准教授 中村 一史 委員 教 授 宇治 公隆 委員 教 授 村越 潤 委員 客員教授 野上 邦栄

【論文の内容の要旨】

吊橋の長大化が進んでおり、世界最大支間長となる Çanakkale1915 橋（トルコ）が 2022 年に完成予定である。さらに、支間長 2000～3000m 級の吊橋の架橋構想が世界各地で計画され、超長大吊橋の必要性が高まっている。近年、より経済的な構造形式として、多径間吊橋が実用化されている。多径間吊橋は、従来の重連形式吊橋と比べて、中間アンカレイジを必要としないため、下部構造の費用の削減が可能となる。しかし、従来の 3 径間吊橋に比べ、たわみやすい構造特性を有することから、中間塔の合理的な設計と死活荷重に対する静的耐荷力を検討する必要がある。

一方、地震時の長大橋特有の問題として、規模が大きくなるほど、各基礎に地震波が到達する時刻の差異（位相差）が大きくなることが挙げられる。特に、超長大多径間吊橋の地震応答特性については未解明な点が多く、3 方向同時加振の動的特性を含めて、地震波の位相差が及ぼす影響を明らかにする必要がある。

さらに、超長大橋では、動的耐風安定性の確保が、その実現性の可否を大きく左右する。多径間吊橋のたわみやすい特性は、耐風安定性の低下につながるという指摘もあり、空力特性に優れる桁断面の適用や、ケーブルシステムによる耐風安定化策を含め、耐フラッター特性の検討が不可欠である。

以上より、本研究は、支間長 3000m を有する超長大多径間吊橋の実現可能性を明らかにすることを目的として、中間塔の合理化に着目した試設計を行い、静的耐荷力、地震応答特性および耐風安定性について、解析的な検討を行った。

第 1 章では、国内外の長大橋の建設動向として、支間の長大化と多径間吊橋の開発状況について述べ、関連する研究事例とその課題を整理した。さらに、次世代の支間長 3000m

級の超長大径間吊橋の必要性と残された検討課題を示した。

第 2 章では、中央径間長 3000m を有する 3, 4, 5 径間吊橋を想定し、旧本州四国連絡橋公団の設計基準に基づいた、試設計の条件を提示した。本試設計の特色は、各主塔に対して最も厳しい活荷重状態に基づいて、側塔と中間塔で異なる断面形状を採用した点、主ケーブル安全率に海峡横断道路ケーブル安全率検討委員会で提案された 1.8 を適用した点である。

第 3 章では、サグ比を 1/8, 1/10, 1/12 に変化させた多径間吊橋の試設計を行い、死活荷重に対する静的耐荷力を明らかにした。耐荷力解析では、弾塑性有限変位理論に基づいた骨組構造解析を適用し、材料非線形および幾何学的非線形性を考慮した。試設計の結果からは、径間数によらず中間塔は側塔に比べて基部の断面積が約 2 倍となること、また、鋼重はサグ比 1/8 のモデルが最小となることがわかった。一方、静的耐荷力は、すべてのモデルで、死活荷重に対して 2.2 倍以上となり、従来の 3 径間吊橋と同等の耐荷力特性を有することが示された。

第 4 章では、地震波の位相差を考慮した、弾性時刻歴応答解析を実施して、地震応答特性を検討した。レベル 2 地震動は、東北地方太平洋沖地震（タイプ I）、兵庫県南部地震（タイプ II）、新潟県中越地震（タイプ II）の 3 種類であり、3 方向同時加振とした。検討の結果、タイプ I 地震動では、補剛桁の振幅は最大 3m となり、継続時間は数分間に及ぶこと、また、タイプ II 地震動では、塔基部および塔水平材隅角部に降伏に近い応力が生じ、特に、中間塔では側塔に比べて、変位や基部軸力変動が増加することがわかった。塔の応力に対する位相差の影響については、地震波の伝播速度 1.2~1.5km/sec 付近で、応答値がピークとなるものの、いずれも塔の限定的な断面補強で対処可能であることを示した。

第 5 章では、基本となる一箱桁形式の多径間吊橋を対象に、耐フラッター特性を明らかにするとともに、クロスステイと呼ばれる耐風安定化策の適用を試みた。クロスステイは、主ケーブルと補剛桁を X 字型のフレームで連結し、固定する部材であり、ねじり振動を抑制する。解析には、無風時の 100 次の固有振動特性を考慮して、マルチモード連成フラッター解析を適用した。検討の結果、クロスステイ設置前のフラッター限界風速 U_{cr} は 51m/sec となること、また、クロスステイの最適位置では、 $U_{cr}=67\text{m/sec}$ に改善されることがわかった。さらに、本試設計では、径間数によらず同等の耐風安定性を有することも確かめられた。

第 6 章では、空力特性に優れる二箱桁形式を多径間吊橋に適用することで、耐フラッター特性の向上の可能性を検討した。二箱桁形式の非定常空気力については、既往の風洞試験の結果を参照し、それを考慮できる解析プログラムを開発した。加えて、センターステイおよびクロスステイによる耐風安定化策の適用を検討した。検討の結果、二箱桁のみの場合、 $U_{cr}=64\text{m/sec}$ となるのに対し、センターステイの適用の場合、 $U_{cr}=74\text{m/sec}$ 、クロスステイの適用の場合、最大で $U_{cr}=94\text{m/sec}$ となり、耐風安定性が飛躍的に向上することを示した。さらに、設計風荷重を漸増させて、強風時の静的耐荷力を検討したところ、風速

83m/sec 相当の風荷重で，塑性化の進展により終局となることがわかった．以上より，二箱桁形式にクロスステイを併用すれば，我が国の厳しい照査風速（80m/sec）を満足する，十分な耐風安定性を確保できることがわかった．

第 7 章では，検討の結果を総括するとともに，超長大多径間吊橋の実現性と今後の展望を示した．